

常時微動観測による地盤構造推定への適用  
～ 常時微動を用いたサイスミック・ゾナーション手法～

国土技術政策総合研究所 港湾研究部港湾施設研究室 岩田直樹

1. はじめに

地盤の S 速度構造は，地震時の地盤の振動特性（地震動増幅特性，周波数特性）に支配的な影響をもつ要因の一つである．このため耐震設計および耐震安全性照査の観点から地盤の S 波速度構造を精度良く推定することは非常に重要である．さらに，地震被害と地盤の S 波速度構造は相関性が高いことから，防災工学の観点からも S 波速度構造を正確に把握する必要がある．

本報告では，地盤の S 波速度構造を推定する方法の一つである常時微動観測について紹介する．経済性，施工性(調査・推定)，推定精度について各手法との比較を行った．また，当研究室で実施した適用例についても紹介する．

2. 常時微動観測

常時微動とは，各種の人間活動などによって発生する地盤の微小な振動(図-1)を指し，その振動は数ミリカイン( $1\text{mkine}=10^{-5}\text{m/s}$ )程度の僅かなものである．常時微動の観測方法は大別すると2つの方法がある．

ひとつは水平2方向に加えて鉛直1成分の合計3成分を1地点において観測する手法であり，水平方向と鉛直方向のスペクトル比をとることにより地盤の固有周期および地震動増幅特性を簡易的に推定することが可能である．ある程度確立された技術と考えられ，各方面で盛んに適用がなされている．

もうひとつは図-2 に示すように円の中心点および円周上の多点にて鉛直成分を観測する手法であり，観測結果に空間自己相関法などを適用して基本モードレイリー波の位相速度を検出することにより，S 波速度構造の推定が可能となる．当研究室では S 波速度構造の推定精度向上のため，逆解析による最適化問題についても検討しているが紙面の都合上，省略する<sup>1)</sup>．

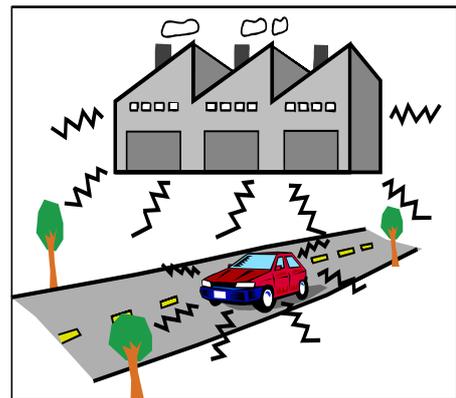


図-1 常時微動発生源

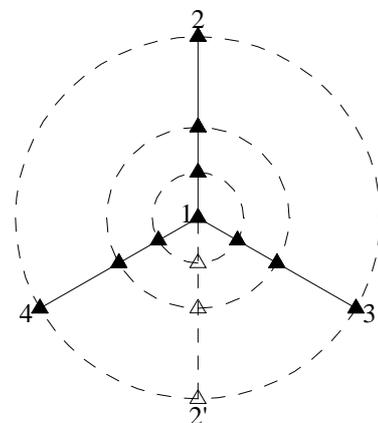


図-2 アレー観測概念図

### 3. 各手法との比較

#### 1) 経済性・施工性の比較

速度検層(PS 検層)や標準観入試験(SPT)を実施するにはボーリングが必要となり、100万円程度のボーリング費用に加え、60~80万円程度の試験費用が必要となる。また、実施する際には用地の確保が必要で、調査1地点当たり数日掛かる。一方、常時微動観測では試験費用は30万円程度、歩道の片隅のような狭い場所でも観測が行える。観測時間は数十分であり、例えば市町村などのサイズミック・ゾーンーションを目的とした広域の調査の場合でも現地観測、解析あわせて数日要するのみである。地盤特性の推定に常時微動観測を適用すればコスト・期間ともに軽減することが可能である。

#### 2) 地盤構造の推定精度の比較

全国の速度検層が実施されている38地点を対象に、平均S波速度のPS検層実測値と微動観測で得られる基本モードレイリー波の位相速度からの推定値<sup>2)-6)</sup>との相関を検討した。表-1に、平均S波速度推定値と実測値との比の値の分布を示した。ここで、 $RV_{sx}$ は微動観測による平均S波速度の推定値 $V_{sx}$ とPS検層による実測値の比により定義される推定精度を示す。 $RV_{sx}$ の標準偏差は0.15未満であり、特に $V_{s20} \sim V_{s55}$ までは0.12以下であり、精度は高いと判断される。 $RV_{sx}$ の平均値は、 $V_{s20}$ 以上では1.04~1.08となり、1.0を数%程度上回る結果となった。この理由としては、波長の長い領域において観測位相速度が理論位相速度を上回る地点が比較的多かったことが原因と考えられ、観測の精度がさらに向上すれば、推定値と実測値の比の平均値は1.0に近付くことが期待される。

次にN値データも存在する地点について、各種手法から推定される地盤のS波速度をもとに1次元等価線形解析手法による地震応答解析を行い各種応答値を比較した。図-3には地表面加速度最大値(PGA)の比較を示す。N値換算による応答値も常時微動と同様にばらつきがある。一般的には地震応答計算をN値からの換算によって行う機会が非常に多いことを考慮すると、今回の限られた検討範囲からは、常時微動観測結果を耐震設計実務にまで適用できる可能性がある。

表-1 平均S波速度推定精度

$V_s$	$RV_{sx}$		
	範囲	平均値	標準偏差
$V_s 10$	0.79 ~ 1.26	1.01	0.14
$V_s 15$	0.73 ~ 1.24	1.00	0.12
$V_s 20$	0.85 ~ 1.39	1.06	0.12
$V_s 25$	0.85 ~ 1.35	1.05	0.11
$V_s 30$	0.86 ~ 1.34	1.04	0.11
$V_s 35$	0.88 ~ 1.38	1.07	0.12
$V_s 40$	0.87 ~ 1.35	1.06	0.12
$V_s 45$	0.86 ~ 1.35	1.06	0.12
$V_s 50$	0.87 ~ 1.37	1.08	0.12
$V_s 55$	0.86 ~ 1.35	1.07	0.12
$V_s 60$	0.85 ~ 1.33	1.07	0.13

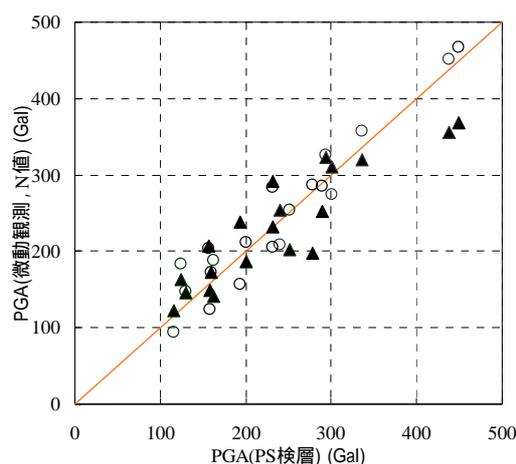


図-3 一次元解析結果の比較

#### 4. 常時微動観測の適用例～サイスミック・ゾナーション

名古屋港を対象としたサイスミック・ゾナーションを実施した。名古屋港においては、明治34年から埋立造成が実施され現在に至っている。このため、原地盤構造の地域毎の違いに加えて、埋立時期の違いによる地震危険度の違いに着目した。平均S波速度の構造をもとに分析した結果、タイプ～タイプの5種類に地盤構造を分類できることがわかった。図-4に各タイプの平均をプロットしたものを示す。このタイプは、埋立時期および工学基盤深さに対応していると考えられ、名古屋港の埋立時期の分類図上にプロットした結果を図-5に示す。湾口から湾奥に向かうにしたがって $V_{s30}$ は大きくなる傾向にあることがわかった。この結果をもとに液状化危険度、構造物危険度を簡易評価しゾーニングを行った。

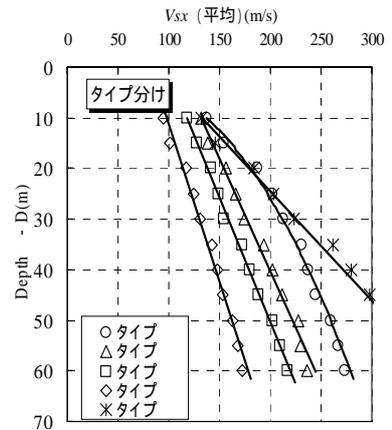


図-4 各タイプの平均  $V_s$

##### 1) 液状化危険度の簡易評価

対象地盤の  $V_{s30}$ 、細粒分含有率および基盤加速度から簡易的に液状化指数  $P_L$  値を評価することのできる液状化危険度判定チャート<sup>7)</sup>を用いて、液状化危険度の評価を行った。基盤加速度 200Gal の場合について  $V_{s30}$  に対するタイプごとの  $P_L$  値を算出した結果を図-6に示す。これより湾奥から湾口にかけて  $P_L$  値は小さくなっている。

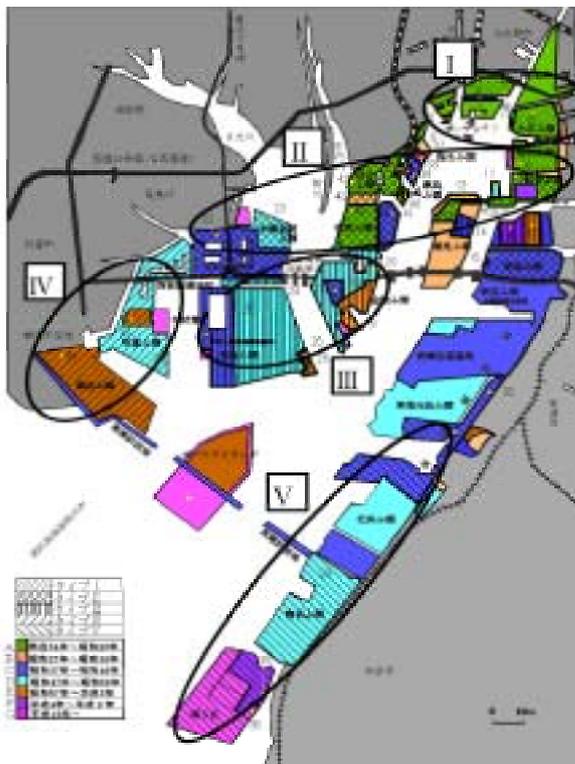


図-5 平均 S 波速度による分類

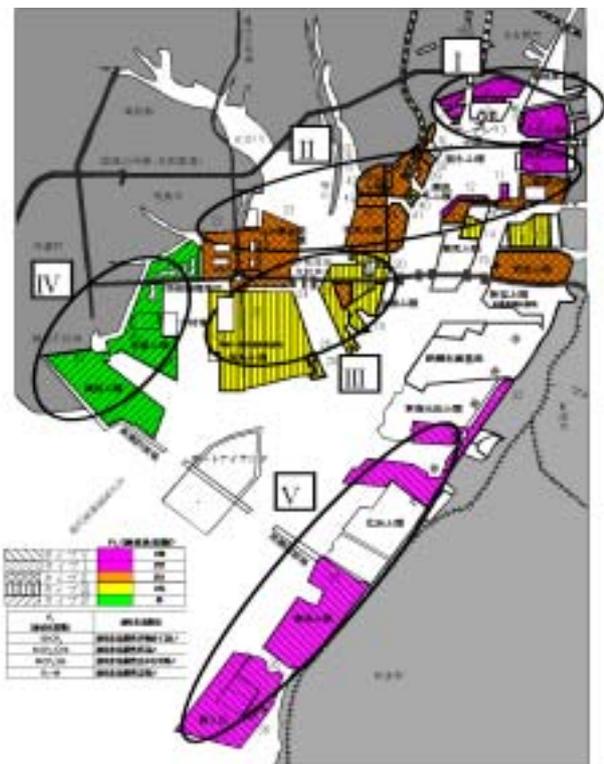


図-6 液状化危険度図

## 2) 構造物危険度の簡易評価

対象地盤の  $V_{s30}$  , 護岸水深 , 護岸の設計震度 , および基盤加速度から簡易的に護岸の変形量を算出することのできる構造物危険度判定チャート<sup>8)</sup>を用いて , 平均 S 波速度タイプごとに護岸の変形量を算出した . ここで , 水深は -11.0m , 設計震度は 0.2 , 基盤加速度は 350Gal としている . その結果を図-7 に示す . 変形量は , 湾奥から湾口にかけて大きくなっているものの , いずれのタイプでも供用制限の範囲である .

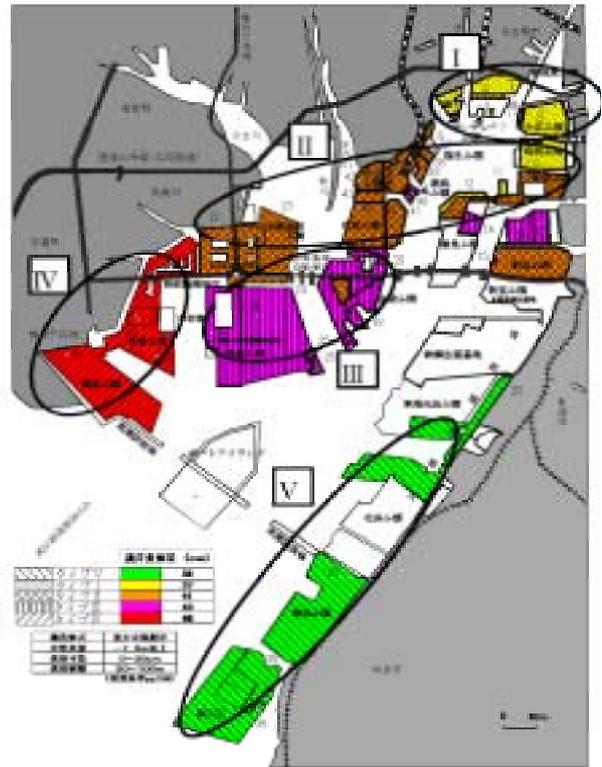


図-7 護岸変形量図

## 5. おわりに

本報告で常時微動観測の経済性・施工性・精度の観点から実務にまで適用できる可能性を示した . また , 常時微動観測より直接精度よく推定できる  $V_{s30}$  から地震危険度を簡易かつ精度よく評価することが可能であり , 名古屋港への適用例を示した . 今後は最表層の S 波速度推定精度の向上方法について検討を行う必要がある .

### 参考文献)

- 1) 川名太, 長尾毅, 紺野克昭: 常時微動観測による位相速度を用いた表層地盤 S 波速度構造の逆解析に関する検討, 土木学会関東支部, 2004
- 2) 大橋明如, 紺野克昭, 片岡俊一, 斎藤正樹: 地盤の平均 S 波速度とレイリー波の位相速度の関係, 土木学会第 55 回年次学術講演会 I-B347, pp.694-695, 2000.
- 3) 紺野克昭, 長尾毅, 佐藤幸博, 田中剛, 一井康二, 片野隆史, 大出哲也, 津留崇, 荒田昌潔: 羽田空港におけるアレー微動観測を用いた地盤の平均 S 波速度の推定, 土木学会第 55 回年次学術講演会 I-B333, pp.666-667, 2000 .
- 4) 紺野克昭, 片岡俊一: レイリー波の位相速度から地盤の平均 S 波速度構造を直接推定する方法の提案, 土木学会論文集 No.647, I-51, pp.367-375 .
- 5) 長尾毅, 西守男雄, 佐藤幸博, 佐藤陽子, 海老原健介, 田中剛, 巽裕一郎: 微動アレー観測を用いた表層地盤の平均 S 波速度の推定, 港湾技研資料 No.992, 2001 .
- 6) 長尾毅, 紺野克昭: 常時微動アレー観測に基づく表層地盤の平均 S 波速度推定精度に関する研究, 土木学会論文集 No.696 I-58 pp.225-235, 2002 .
- 7) 足立雅樹, 川名太, 長尾毅, 紺野克昭: 常時微動観測を用いた名古屋港の S 波速度構造に関する検討, 第 27 回地震工学研究発表会 (CD-ROM), 2003 .
- 8) 長尾毅, 岩田直樹, 紺野克昭: 臨海部埋立地盤の地震危険度の簡易推定法に関する研究, 海洋開発論文集第 19 巻, pp.707-712, 2003 .